

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-307443

(43)Date of publication of application : 05.11.1999

(51)Int.Cl.

H01L 21/027

G02B 13/18

G02B 13/24

G03F 7/22

(21)Application number : 10-131195

(71)Applicant : CANON INC

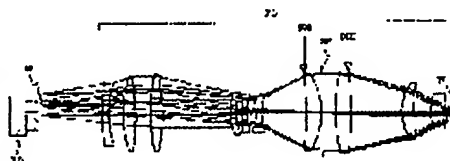
(22)Date of filing : 24.04.1998

(72)Inventor : SEKINE YOSHIYUKI

(54) PROJECTION ALIGNER AND MANUFACTURE OF DEVICE USING THE PROJECTION ALIGNER**(57)Abstract:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a projection aligner and a method for manufacturing a device using such a projection aligner which is made less affected by flares caused by unnecessary diffracted light by arranging a diffracting optical element adjacent to a pupil in a projection optical system and thus satisfactory correcting aberrations.

SOLUTION: A projection aligner comprises an illumination optical system ED for illuminating a reticle M with light from a light source, and a projection optical system PL including a diffracting optical element BOE for projecting a pattern image of the illuminated reticle M onto a substrate. In this case, the element BOE is designed so that a ratio St/S is set to a predetermined amount CX or lower, where St is the area of a region in which the zone-to-zone distance of the element BOE is equal to or greater than a predetermined amount T and S is the area of the effective size of the element BOE.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-307443

(43)公開日 平成11年(1999)11月5日

(51)Int.Cl. ⁶	識別記号	F I	
H 0 1 L 21/027		H 0 1 L 21/30	5 1 5 D
G 0 2 B 13/18		G 0 2 B 13/18	
	13/24		13/24
G 0 3 F 7/22		G 0 3 F 7/22	H
		H 0 1 L 21/30	5 1 6 A
審査請求 未請求 請求項の数4 F D (全 12 頁) 最終頁に続く			

(21)出願番号 特願平10-131195

(22)出願日 平成10年(1998)4月24日

(71)出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72)発明者 関根 義之

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ
ノン株式会社内

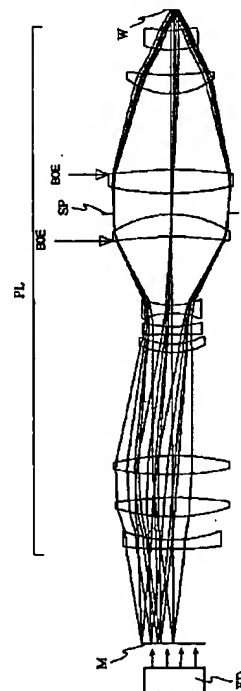
(74)代理人 弁理士 高梨 幸雄

(54)【発明の名称】 投影露光装置及びそれを用いたデバイスの製造方法

(57)【要約】

【課題】 投影光学系中の瞳近傍に回折光学素子を配置することによって諸収差を良好に補正しつつ不要回折光によるフレアの悪影響を少なくした投影露光装置及びそれを用いたデバイスの製造方法を得ること。

【解決手段】 光源からの光でレチクルを照明する照明光学系と、照明されたレチクルのパターンの像を基板上に投影する回折光学素子を含む投影光学系と、を有する投影露光装置において、該回折光学素子は、その輪帯間隔が所定量T以上である領域の面積 S_t と、該回折光学素子の有効径の面積 S との比 S_t/S を所定量 $C \times$ 以下にしたこと。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 光源からの光でレチクルを照明する照明光学系と、照明されたレチクルのパターンの像を基板上に投影する回折光学素子を含む投影光学系と、を有する投影露光装置において、該回折光学素子は、その輪帯間隔が所定量 T 以上である領域の面積 S_t と、該回折光学素子の有効径の面積 S との比 S_t/S を所定量 CX 以下にしたことを特徴とする投影露光装置。

【請求項2】 前記回折光学素子は前記投影光学系の瞳面近傍に配置され、該回折光学素子の各輪帯が複数の平面による階段形状で近似されるバイナリオプティクス素子より成り、該投影光学系で使用される中心波長を λ 、該バイナリオプティクス素子の階段の段数を N 、該バイナリオプティクス素子の硝材の屈折率を n 、該投影光学系の最大物体高の主光線の瞳面からの出射角を θ_h 、結像条件を満たす回折次数を L 、 p 次回折光の回折効率を η_p としたとき、前記輪帯の間隔の所定量 T は $T = N\lambda / (n \sin \theta_h)$

であり、前記面積比 S_t/S の所定量 CX は

$$CX = 0.01 \eta_L / (\eta_{n+L} + \eta_{-n+L})$$

であることを特徴とする請求項1の投影露光装置。

【請求項3】 前記回折光学素子は前記投影光学系の瞳面近傍に配置され、該回折光学素子の各輪帯が複数の平面による階段形状で近似されるバイナリオプティクス素子より成り、該投影光学系で使用される中心波長を λ 、該バイナリオプティクス素子の硝材の屈折率を n 、該投影光学系の最大物体高の主光線の瞳面からの出射角を θ_h 、結像条件を満たす回折次数を L 、 p 次回折光の回折効率を η_p としたとき、前記輪帯の間隔の所定量 T は $T = \lambda / (n \sin \theta_h)$

であり、前記面積比 S_t/S の所定量 CX は

$$CX = 0.01 \eta_L / (\eta_{n+L} + \eta_{-n+L})$$

であることを特徴とする請求項1の投影露光装置。

【請求項4】 請求項1～3のいずれか1項記載の投影露光装置を用いてレチクル面上のパターンを投影光学系によりウエハ面上に投影露光した後、該ウエハを現像処理工程を介してデバイスを製造していることを特徴とするデバイスの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は投影露光装置及びそれを用いたデバイスの製造方法に関し、特に回折光学素子を含む投影光学系によってレチクル又はマスク（以下「マスク」と総称する）面上のデバイスパターンをウエハ上の複数箇所にステップアンドリピート方式又はステップアンドスキャン方式で投影露光することにより、IC、LSI、CCD、液晶パネル等のサブミクロン又はクォーターミクロン以下のパターンを有するデバイスを製造する際に好適なものである。

【0002】

【従来の技術】最近、回折光学素子(Diffractive Optical Element、以下「DOE」ともいう)を利用した光学系が数多く提案されている。例えば、SPIE Vol.1354 International Lens Design Conference(1990)や特開平4-213421号公報、特開平6-324262号公報、特開平6-331941号公報、USP5,044,706は回折光学素子の色収差の出方が通常の屈折素子であるレンズに対して逆方向であるという現象を利用し、レンズの表面や或いは透明な板の表面に正の光学パワーを有する回折光学素子を設けて光学系の色収差を減じる方法が提案されている。

【0003】又、素子を構成する各単位を2段以上の階段で構成した回折光学素子、所謂バイナリオプティクス素子(Binary Optics Elements、例えばG.J.Swanson, Technical Report 854, MIT Lincoln Laboratory, 14 Aug 1989 やG.J.Swanson, Technical Report 914, MIT Lincoln Laboratory, 1 Mar 1991等で提案されている。

【0004】一方、投影光学系に回折光学素子を導入してこの素子の作用で諸収差を従来よりも補正した半導体素子製造用の投影露光装置も、例えば特開平6-331941号公報、特開平7-128590号公報、特開平8-17719号公報等で提案されている。

【0005】これらの装置の投影光学系は、1つ又は複数の回折光学素子を用いて、主に軸上色収差や倍率色収差を補正している。

【0006】回折光学素子に求められる理想的な形状（ブレード形状）を直接作製することは必要とされる工作精度等から極めて困難なものであったが、バイナリオプティクス素子ではブレード形状を直接作製するのではなく、階段形状により表面形状を近似して作製する。このような階段形状はリソグラフィ工程により容易に、かつ露光装置としてステッパーを用いることで微細な構造を正確に作製できるようになったことが大きい。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】光の利用効率という点では位相型の回折光学素子を用いることが好ましい。位相型の回折光学素子は理想的にキノフォーム(Kinoform)が作製された場合、回折効率が100%となる。これに対して前述のバイナリオプティクス素子はキノフォームを階段で近似している為、それが理想的に製作されても回折効率が100%とならず、例えば8段の階段で回折効率が95%程度しか得られず、結像に寄与しない不必要な回折光（不要回折光）が発生している。

【0008】この不要回折光は正しい位置に結像しない為、フレアー光として像面に遠く像質を低下させていた。前述の先行技術はいずれも、この不要回折光に対する有効な対策法を有していない。

【0009】回折光学素子からこのような不要回折光が発生した場合、該不要回折光が像面にまで達するには鏡筒の内壁等で1回以上反射されてから達する場合と、こ

のような反射をせずに、そのまま光学系の有効径内を通過して達する場合とがある。我々の検討によれば不要回折光のうち、鏡筒で反射するものは鏡筒の設計、及び内壁の反射防止処理により、その強度を無視できる程度に低減することができるが、光学系の有効径内をそのまま通過して像面に達する不要回折光は露光むら等の原因となることが判明した。

【0010】不要回折光の像質への影響を判断するには、像面における設計次数の回折光強度（結像に用いる正規の回折光強度）に対する不要回折光の強度と、像面における不要回折光の強度分布の両方に注目する必要がある。

【0011】不要回折光の像面での強度がほとんど0であることが好ましいが、このようにすることは簡単でない。我々は検討により、不要回折光の強度が設計次数の回折光の強度の数%程度であっても、その強度分布が像面上ではほぼ一様となるときは不要回折光の像質への影響が実質的になくなること気づいた。

【0012】この場合は、不要回折光が一様な背景光として加えられるために像のコントラストは低下するものの、像面全体でコントラストがほぼ一様であるので、後のプロセスにより対処できる。

【0013】本出願人は先の特願平9-62239号において、物体面近傍、或は像面近傍にバイナリオプティクス素子を配置した場合は像面で不要回折光の強度が大きくなり、かつ露光むらが現れること、瞳面近傍に配置した場合は強度は十分小さく、かつ露光むらがほとんど見られないことを数値計算により示した。しかし、バイナリオプティクス素子に与える位相関数が十分に緩やかな場合、即ち輪帯間隔が十分に大きい場合には瞳面近傍に配置しても強度が大きくなることが分かった。これは輪帯間隔が大きくなることにより、（高次の）不要回折光の回折角が小さくなり、光学系の有効径内を通過する光が増えるためと定性的に説明できる。従って、背景光の強度を抑えるためには素子全体に渡って輪帯間隔を十分小さくすれば良い。しかし、通常の集光力を持ったバイナリオプティクス素子では輪帯間隔は中心でごく緩く、周辺部ではきつくなるため、素子全体で輪帯間隔を小さくすることは困難である。

【0014】本発明は、回折光学素子から生ずる不要回折光に悪影響を極力少なくし、高い光学性能を容易に得られる投影露光装置及びデバイスの製造方法の提供を目的とする。

【0015】

【課題を解決するための手段】本発明の投影露光装置は、

(1-1) 光源からの光でレチクルを照明する照明光学系と、照明されたレチクルのパターンの像を基板上に投影する回折光学素子を含む投影光学系と、を有する投影露光装置において、該回折光学素子は、その輪帯間隔が所

定量T以上である領域の面積 S_t と、該回折光学素子の有効径の面積 S との比 S_t/S を所定量CX以下にしたことを特徴としている。

【0016】特に、構成(1-1)において、

(1-1-1) 前記回折光学素子は前記投影光学系の瞳面近傍に配置され、該回折光学素子の各輪帯が複数の平面による階段形状で近似されるバイナリオプティクス素子より成り、該投影光学系で使用される中心波長を λ 、該バイナリオプティクス素子の階段の段数をN、該バイナリオプティクス素子の硝材の屈折率をn、該投影光学系の最大物体高の主光線の瞳面からの出射角を θ_h 、結像条件を満たす回折次数をL、p次回折光の回折効率を η_p としたとき、前記輪帯の間隔の所定量Tは

$$T = N\lambda / (n \sin \theta_h)$$

であり、前記面積比 S_t/S の所定量CXは

$$CX = 0.01 \eta_L / (\eta_{n+L} + \eta_{-n+L})$$

であること。

【0017】(1-1-2) 前記回折光学素子は前記投影光学系の瞳面近傍に配置され、該回折光学素子の各輪帯が複数の平面による階段形状で近似されるバイナリオプティクス素子より成り、該投影光学系で使用される中心波長を λ 、該バイナリオプティクス素子の硝材の屈折率をn、該投影光学系の最大物体高の主光線の瞳面からの出射角を θ_h 、結像条件を満たす回折次数をL、p次回折光の回折効率を η_p としたとき、前記輪帯の間隔の所定量Tは

$$T = \lambda / (n \sin \theta_h)$$

であり、前記面積比 S_t/S の所定量CXは

$$CX = 0.01 \eta_L / (\eta_{n+L} + \eta_{-n+L})$$

であること等の特徴としている。

【0018】本発明のデバイスの製造方法は、

(2-1) 構成要件(1-1)の投影露光装置を用いて、レチクル面上のパターンを投影光学系によりウエハ面上に投影露光した後、該ウエハを現像処理工程を介してデバイスを製造していることを特徴としている。

【0019】

【発明の実施の形態】図1は本発明の投影露光装置の実施形態1の要部概略図である。本実施形態ではサブミクロンやクォーターミクロン以下のリソグラフィー用のステップアンドリピート方式又はステップアンドスキャン方式の投影露光装置に適用した場合を示している。

【0020】図中PLは投影光学系である。同図は電子回路パターン等が形成されている第1物体としてのレチクル又はマスク（以下「レチクル」と総称する）Mを光源と照明光学系より成る照明装置EDからの露光光で照明し、該第1物体面上のデバイスパターンを投影光学系PLによって第2物体としてのSi基板より成るウエハWのショット領域上に縮小投影している場合を示している。光源としてはKrFエキシマレーザー、ArFエキシマレーザー、又はF₂レーザー等が用いられている。

【0021】SPは絞り（開口絞り）であり、投影光学系PLの瞳面を定める。BOE1、BOE2は各々レンズの表面に形成された第1、第2回折光学素子であり、バイナリオプティクス素子である。2つの回折光学素子BOE1、BOE2は瞳面SPの近傍に該瞳面SPを挟むように対応するレンズに形成している。

【0022】本実施形態ではそれぞれある回折格子構造を備える第1、第2回折光学素子BOE1、BOE2が投影光学系PLの瞳面近傍に前後に配置された構成を有しているので、色収差を含めた各諸収差を良好に補正すると同時にそれぞれの回折光学素子より出る不要回折光より成るフレアー成分による像面（ショット領域）での悪影響、即ち露光むらを避けている。尚、回折光学素子は1つであっても良い。

【0023】図6に回折光学素子BOEから出る不要回折光を示す。この回折光は、第1物体Mのパターン像を形成するために使われる特定次数の回折光とは次数が異なる回折光であり、その一部は基板に入射しないでレンズ鏡筒の内壁にあたって吸収され、その残りの部分が基板に入射する。

【0024】露光むらが出ないように、本発明では後述するように回折光学素子の輪帯間隔が所定量T以上である領域の面積 S_t と回折光学素子の有効径の面積 S_o との比を所定量C以下として基板に入射する不要回折光のショット領域内の光強度分布が均一になるように設定してある。

【0025】又、第1、第2回折光学素子BOE1、BOE2の材質は石英より成っている。投影光学系PLは石英又は蛍石の単一硝材のレンズ又は石英と蛍石の硝材のレンズより成っている。尚、以下に示す各実施形態では回折光学素子とレンズとを合わせてすべての素子を石英より構成し、硝材系としている。

【0026】本実施形態では、照明装置EDからの波長約248nm、約193nm又は約157nmの露光光で照明した第1物体M上のデバイスパターンを投影光学系PLで第2物体W面上に投影露光し、その後、該ウエハを現像処理工程を介してデバイスを製造している。

$$F(r) = -(\sqrt{r^2 + f^2} - f) / [\lambda(n-1)] \quad \text{【式3】}$$

となる。

【0035】この形状 $F(r)$ は基本的には屈折光学素子の面形状を表している。回折光学素子では、光の位相項が周期 2π であることを利用している。まず位相関数 $\phi(r)$ で値が 2π の整数倍となる $r = R_m$ （ m は整数： $R_0 = 0$ とし、光軸から $[R_m, R_{m+1}]$ での値が $[0, 2\pi]$ の範囲に入るように 2π の整数倍を加えた位相関数を作っている。これは、光路長関数 $opl(r)$ では区間 $[R_m, R_{m+1}]$ で $[0, 1]$ の範囲に入るようにしたことに相当している。又、 $T = R_{m+1} - R_m$ が輪帯間隔となる。

【0027】次に、本実施形態に係る回折光学素子BOE1、BOE2について説明する。

【0028】本実施形態に係る回折光学素子BOE1、BOE2について説明する。本実施形態の投影光学系PLでは第1、第2回折光学素子BOE1、BOE2として位相型の回折光学素子を用いている。位相型の回折光学素子では理想的にKinoformが作製された場合、回折効率（回折光学素子に入射した光に対する目的とする方向に伝わった光の強度比）は100%になることが知られている。

【0029】本実施形態の位相型の回折光学素子では、回折光学素子に入射した光の位相を位相関数として与えた分だけ変化させ、目的とする方向への光の偏向を達成している。ここで、位相関数とは回折光学素子上の位置の関数として定義している。

【0030】通常、回折光学素子は回転対称であるので、位相関数は光軸からの距離 r の関数となる。例えば、焦点距離 f の無収差レンズの位相関数 $\phi(r)$ は、

【0031】

【数1】

$$\phi(r) = -\frac{2\pi}{\lambda} (\sqrt{r^2 + f^2} - f) \quad \text{【式1】}$$

を与えれば良い、但し、 λ は使用する光の波長である。

【0032】位相関数 $\phi(r)$ は位相を表しているが、実際にこの位相変化を回折光学素子で実現する為に光路長（光路長関数） $opl(r)$ で表している。光路長 $opl(r)$ は位相関数 $\phi(r)$ を 2π で割ることで求められる。ただし、長さの単位は波長 λ としている。

【0033】

【数2】

$$opl(r) = -(\sqrt{r^2 + f^2} - f) / \lambda \quad \text{【式2】}$$

この光路長 $opl(r)$ を得る回折光学素子の形状は、それが空気中にあるとし、波長 λ での硝材の屈折率を n とすると、形状 $F(r)$ は、

【0034】

【数3】

【0036】この値域が $[0, 1]$ の光路長関数 $opl(r)$ に対して、 $(n-1)$ で割った関数により回折光学素子の表面形状を与えることで回折光学素子による無収差レンズを得ている。回折光学素子において、素子の表面形状（即ち凹凸）により回折効果を得るものは、通常、表面レリーフ型と呼ばれている。

【0037】位相型の回折光学素子における、位相関数 $\phi(r)$ の与え方により任意の非球面効果が得られる。又、必要な表面形状 $F(r)$ の深さは光路長関数 $opl(r)$ の値域を $[0, 1]$ にしているため、波長オーダーとなっているので、回折光学素子を薄くできる。又、

回折光学素子には回折による光の偏向は波長が長いと大きくなるために、通常の硝材等の屈折光学素子での色分散と逆の特性を持っている。

【0038】そこで、複数の硝材を用いずとも屈折光学素子と回折光学素子の組み合わせによって色収差の補正を行うことが可能である。従って、図1の回折光学素子BOE1、BOE2においても、これらの特徴を適宜利用することができる。

【0039】本実施形態はこれらの特徴を、半導体素子製造用の投影露光装置（ステップアンドリピート方式又はステップアンドスキャン方式）の投影光学系に適用している。

【0040】現在ステッパーの投影光学系で使用される露光光の波長の主流はHgのi線（ $\lambda=365\text{nm}$ ）である。この他、KrFエキシマレーザー（ $\lambda=248\text{nm}$ ）や次世代のArFエキシマレーザー（ $\lambda=193\text{nm}$ ）等の紫外域の光を露光光に用いる例もある。これらの紫外域の光に対して十分な透過率を持つ硝材にはSiO₂とCaF₂のみで、特に、F₂レーザー（ $\lambda=157\text{nm}$ ）の光を使用する投影光学系に用いることができる硝材にはCaF₂だけである。

【0041】このように、屈折光学素子に使用できる硝材の種類が限られているので、これらの紫外域の露光光を使用する投影光学系を屈折光学素子のみで構成しようとすると、色収差の補正が難しくなってくる。又、色収差補正の為に光源の帯域幅には1 μm 以下と厳しい条件が課されている。又、光学性能確保に必要な収差補正のためにレンズ枚数が多くなってきて、レンズ全厚が増大し、光学系全体の透過率が悪くなってくる。透過率の低下、即ちレンズによる吸収の増加は露光収差という点から考えても好ましくない。

【0042】本実施形態は紫外域の露光光を使用する投影光学系におけるこのような色収差とレンズ全厚が増大するという問題を、前述したように、適切な形状の回折光学素子を投影光学系中の瞳位置、又はその近傍に設定して露光むらが生じないようにして解決している。

【0043】本実施形態における回折光学素子は、透明基板上に理想的な形状（ブレード形状やキノフォーム形状）を直接作製するのではなく、理想形状を階段形状により近似して作製している。このような階段形状はリソグラフィ工程により作製している。従来は、ブレード形状やキノフォーム形状を直接作製することは必要な工作精度等から極めて困難なものであったが、本実施形態における回折光学素子の作成装置としてステッパーを用いることで微細な構造を持つ回折光学素子の作製を可能にしている。

【0044】本実施形態における回折光学素子は理想形状を階段で近似した形状を有しているため、回折効率が100%に達せず、僅かであるが、不要回折光が現われてくる。

【0045】今、階段の段数をN、目的とする偏向方向に回折される回折光の回折次数（設計次数）を1とした場合、1以外の回折次数mの回折光の回折効率 η_m^N は、

【0046】

【数4】

$$\eta_m^N = \left[\frac{\sin\{\pi m/N\} \sin\{\pi(1-m)/N\}}{\pi m \sin\{\pi(1-m)/N\}} \right]^2 \quad \text{【式4】}$$

で表すことができる。ただし、回折光学素子のレリーフの深さが最適化されているものと仮定している。尚、仮に上式のmに1を代入してみると、 $\eta_{01} = 1$ となるので、深さが最適化された理想的な場合は回折効率が100%であることがわかるが、回折効率と作製の精度から実的には、 $N=8\sim 16$ 程度に設定する。製作上の観点で好ましくは $N=8$ 程度である。その場合の回折効率は、 $\eta_{01}^8 = 0.95$ となる。さらに、 η_m^8 は、 $m=\dots, -15, -7, 1, 9, 17, \dots$ でのみ値を持ち、

$$\eta_m^8 = [\sin(\pi m/8)/(\pi m/8)]^2 \quad \text{【式5】}$$

と書ける。

【0047】例えば、 $\eta_9^8 = 0.0117m$ 、 $\eta_{17}^8 = 0.0033$ が得られる。即ち、8段の回折光学素子では $m=8n+1$ （nは0以外の整数）で表される次数に不要回折光が現われてくる。

【0048】又、さらに近似の精度を上げて $N=16$ とした場合は、 $m=16n+1$ （nは0以外の整数）で表される次数に不要回折光が現われてくることが同様に分かる。

【0049】このように回折光学素子を使う場合には不要回折光が存在するが、これらは結像条件を満たさないために像面に入射した場合にはフレア成分となって現れ、露光むらを引き起こして像質を劣化させる。従って、8段の回折光学素子では $m=\dots-15, -7, 9-17\dots$ の次数、16段の回折光学素子では $m=\dots-31, -15, 17, 33\dots$ の次数の光が像面上の所定の範囲内にできる限り入射しないように除去する必要がある。

【0050】これに対して従来の回折光学素子を用いた投影光学系では収差補正能力のみに注目して不要回折光の影響を何ら考慮していなかった。

【0051】そこで、本実施形態では投影光学系中の開口絞り近傍に、前述した構成の回折光学素子を1つ又は2以上配置し、収差補正を良好に行いつつ、不要回折光の悪影響を除去している。

【0052】次に、本実施形態で用いているバイナリオプティクス素子より成る回折光学素子の光学的性質について説明する。

【0053】屈折率 n_1 の媒質中を進行する波長 λ の光が屈折率 n_2 の媒質との界面に作られた位相関数 ϕ （r）を持つバイナリオプティクス素子上に入射角 θ_1 で入射した場合、m次回折光として出射する光の出射角を θ_2 とすると

$n_2 \sin \theta_2 - n_1 \sin \theta_1 = m\lambda / T$ [式6]
であることが知られている。ただし、 T は入射位置での
バイナリオプティクス素子の輪帯間隔であり、

【0054】

【数5】

$$T(r) = 2\pi \left| \frac{d\phi(r)}{dr} \right|^{-1}$$

として与えられる。

【0055】簡単のために垂直入射 ($\theta_1 = 0$) を仮定
すると、[式6] から

$$\sin \theta_2 = m\lambda / (n_2 T) \quad \text{[式7]}$$

となる。[式7] は、輪帯間隔を小さくすると任意の回
折次数 m に対して十分大きな出射角 θ_2 が得られること
を示している。ここで、輪帯間隔が十分に小さくなり、
出射角 θ_2 が光学系によって異なる所定量 α 以上に大き
くなると光線は大きく発散して光学系の有効径からはず
れるようになる。したがって、出射角が α 以下となるよ
うな輪帯間隔を持つ領域の面積を十分に小さくすること
で、不要回折光が像面に入射する量を低減させることが
できる。

【0056】特にバイナリオプティクス素子が瞳面近傍
に配置されている場合、素子上での出射角分布は像面上
での強度分布とほぼ一対一に対応すると考えてよい。こ
こで最大物体高の主光線は像面の縁に到達することか
ら、この光線の瞳面への出射角 θ_h は光学系の有効径内
を通過するための最大の角度 α となり、素子上の位置に
はほとんど依存しない。 m 次回折光が像面内に入らない
ための条件は結像条件を満たす L 次 (一般に、 $L = 1$,
または -1) 回折光となす角が θ_h より大きいことであ
るため、輪帯半径 T の条件として近似的に、

$$T_1 = (m - L) \lambda / (n_2 \sin \theta_h)$$

が得られ、所定量 T_1 より輪帯間隔が小さい領域からの
光は像面に入射しないことになる。この素子が N 段の階
段構造を持つ場合、不要回折光として現れる次数は $m =$
 $Nk + L$ であるが、設計次数に最も近い $k = \pm 1$ のとき
が最も回折効率が高く、かつ最も回折角が小さいことは
明らかである。また、 n_2 は出射側 (像面側) の媒質の
屈折率であり、素子の硝材の屈折率 n と空気の屈折率 1
のどちらかであるが、ここでは $n_2 = n$ として条件を厳
しく取ることにすると、

$$T_1 = N\lambda / (n \sin \theta_h) \quad \text{[式8]}$$

となる。

【0057】瞳面近傍に配置された素子上で所定量 T_1
より大きい輪帯間隔を持つ領域の面積を S_{t1} とし、さ
らに $k = \pm 2$ 以上の高次回折光を無視すると不要回折光
の強度は

【0058】

【数6】

$$(\eta_{N+L}^N + \eta_{N+L}^N) S_{t1}$$

に比例する。設計次数の強度は素子の有効面積を S とし

たとき、

【0059】

【数7】

$$\eta_L^N S$$

に比例するので、不要回折光の割合 R は、

【0060】

【数8】

$$R = (\eta_{N+L}^N + \eta_{N+L}^N) S_{t1} / (\eta_L^N S) \quad \text{[式9]}$$

と考える。よい。

【0061】割合 R の値をどの程度に取るかは投影光学
系の用途によって大きく異なるが、我々の検討では結像
特性への影響や背景光分布の一様性から 1% ($R = 0.01$)
以下が望ましいことが分かった。したがって、輪
帯間隔が所定量 T_1 より大きい領域の面積 S_{t1} と素子
の有効領域との面積 S との比 S_{t1} / S の値 CX は、

【0062】

【数9】

$$S_{t1} / S = 0.01 \eta_L^N / (\eta_{N+L}^N + \eta_{N+L}^N) \quad \text{[式10]}$$

よりも小さいと不要回折光の割合が 1% を下回り、好適
である。

【0063】バイナリオプティクス素子が理想的に作製
されていない場合、 $m = Nk + 1$ 次以外にも不要回折光
が現れる。特に問題となるのは、1次回折光に近接し、
最も回折角の小さい 1 ± 1 次である。これらの次数の回
折光が像面内に入射しないための輪帯間隔の条件は、

$$T_2 = \lambda / (n \sin \theta_h) \quad \text{[式11]}$$

であり、輪帯間隔が所定量 T_2 より大きい領域の面積を
 S_{t2} とすると、

【0064】

【数10】

$$S_{t2} / S = 0.01 \eta_L^N / (\eta_{L+1}^N + \eta_{L-1}^N) \quad \text{[式12]}$$

が満たされる場合に $L \pm 1$ 回の不要回折光の割合が 1%
を下回ることになる。

【0065】以上のように、バイナリオプティクス素子
を投影光学系に用いる際には注目すべき回折次数を設定
し、その次数の光が像面に入射する限界の輪帯間隔をよ
り大きい領域の面積に制限を与えることで、不要回折光
の影響を低減している。

【0066】本実施形態では図1に示すように、投影光
学系中に2枚の回折光学素子を、投影光学系の開口絞り
SPの近傍に設け、開口絞りSPの物体側と像側に各々
少なくとも1枚ずつを配置している。これによって不要
回折光の影響を低減している。

【0067】本実施形態では回折光学素子 (バイナリオ
プティクス素子) の特性を表す為には光路長関数 $o p l$
(r) を用いている。

【0068】ここでは、回折光学素子の光軸からの距離
を r としたとき

$o p l(r) = C_1 r^2 + C_2 r^4 + C_3 r^6$ λp
 として、各係数 C_1 、 C_2 、 C_3 と波長 λ_p を与えてい
 る。ただし、波長 λ_p は製造波長と呼ばれるものであ
 り、設計にあたっては実際に光学系で使用される波長と
 同じでも異なっても良い。

【0069】尚、本実施形態で用いる露光光は数百ピコ
 (300pm) 以下のバンド幅を有している。

【0070】又、非球面形状に関しては、

【0071】

【数11】

$$z(r) = \frac{c r^2}{1 + \sqrt{1 - (1+K) c^2 r^2}} + A r^4 + B r^6 + C r^8 + D r^{10} + E r^{12} + F r^{14}$$

として、 K 、 c 、 A 、 B 、 C 、 D 、 E 、 F を与えること
 により決定している。ただし、 c は曲率半径である。

学系の数値例を次に示す。

【0073】

【0072】図1に示した本発明の実施形態1の投影光
 (数値例1)

【外1】

物体高	0mm, 35mm, 50mm	NA = 0.50	$\lambda = 193.00\text{nm}$
面番号:	曲率半径	面間隔	屈折率 ($\lambda = 193.00\text{nm}$)
OBJ:	INFINITY	148.52	1.0
1:	630.31	15.00	1.560772
2:	220.99	36.235	1.0
(非球面) K : -2.28			
A	:0.226 E-07	B : 0.715 E-12	C : -0.299 E-16
D	:0.634 E-20	E : -0.168 E-23	F : 0
3:	290.81	30.00	1.560772
(非球面) K : -0.0262			
A	:-0.214 E-08	B : 0.369 E-12	C : -0.933 E-17
D	:-0.141 E-20	E : -0.907 E-25	F : 0
4:	-572.22	36.339	1.0
5:	466.216	30.00	1.560772
6:	-407.87	164.326	1.0
7:	123.981	13.00	1.560772
8:	110.516	15.00	
(非球面) K : 0.000000			
A	:0.167 E-07	B :0.208 E-10	C :0.783 E-14
D	:-0.386 E-18	E :0.347 E-22	F :0
9:	1546.52	13.00	1.560772
10:	174.68	21.00	1.0
(非球面) K : -0.972			
A	:-0.233 E-07	B : -0.612 E-10	C : -0.145 E-13
D	:-0.362 E-17	E : 0.265 E-20	F : 0
11:	-140.57862	13.000000	1.560772
(非球面) K : 4.804			
A	:-0.153 E-06	B : -0.903 E-11	C :0.852 E-14

【0074】

【外2】


```

      D : -0.744 E-17    E : 0.512 E-20    F : 0
12:      125.62          108.47            1.0
13:      -660.11         35.00             1.560772
      (BOE)設計次数  -1    λp = 632.80nm
      C1 : 3.24 E-03    C2 : -4.34 E-09    C3 : 2.08 E-13
14:      -172.68         1.00             1.0
      (非球面)  K : 0.0130
      A : -0.693 E-09    B : 0.377 E-13    C : 0.192 E-17
      D : -0.615 E-22    E : -0.247 E-25    F : 0.955304 E-30
15: 絞り    INFINITY    32.000000
      (stop)
16:      424.39          37.00             1.560772
      (非球面)  K : 0.437
      A : 0.675 E-09    B : 0.905 E-15    C : -0.621 E-18
      D : -0.768 E-22    E : -0.386 E-26    F : -0.153 E-30
17:      -729.28         119.71           1.0
      (BOE)設計次数  -1    λp = 632.80nm
      C1 : 1.714 E-03    C2 : -1.654 E-09    C3 : -2.586 E-13
18:      109.24          30.00             1.560772
      (非球面)  K : -0.212307
      A : 0.762 E-09    B : -0.470 E-12    C : -0.145600 E-15
      D : -0.346 E-20    E : -0.158 E-23    F : 0
19:      462.671         39.20             1.0
20:      139.22          30.00             1.560772
21:      128.21          32.28             1.0
      (非球面)  K : 1.26
      A : 0.180 E-06    B : 0.746 E-12    C : -0.270 E-13
      D : -0.115 E-16    E : 0.481 E-20    F : 0
IMG: 像面    INFINITY    0.001225

```

次に、本実施例における像面での不要回折光の強度分布のシミュレーションを行い、設計次数の強度に対する比で示したものが図2である。その結果は、値が約0.1%であり、かつ像面全体に渡ってほぼ一様となっている。本実施例では2枚のバイナリオプティクス素子が用いられているが、この内第13面のみを考慮した場合の不要回折光強度は約0.03%、第17面のみを考慮した場合は約0.07%であり、それぞれ図3、4に示している。なお、ここでの不要回折光の計算は物体面において半径50mmの円形開口があり、開口全面で輝度分布、配光分布が一様であること、及び2枚のバイナリオプティクス素子は共に8段の階段形状を持つと仮定している。

【0075】本実施例のレンズデータにおける最大物体高の主光線の瞳面からの出射角 θ_h は光線追跡により4.3(deg)が得られ、[式8]から $T_1 = 13.3\mu\text{m}$ が求められる。第13面では輪帯間隔が13.3

μm となる半径は7.3mmとなり、またこの面での有効径は86.3mmである。従って、[式9]から第13面におけるRの値を求めると $R = 0.023\%$ となり、シミュレーションでの結果に近いことが分かる。同様のことを第17面に対して行くと、輪帯間隔が13.3 μm になる半径13.9mm、有効径94.8mmから $R = 0.064\%$ が得られ、同様にシミュレーションの結果を反映していることが分かる。

【0076】次に第13面の位置において不要回折光強度が1%程度になる場合を考えてみる。この場合は[式10]から輪帯間隔が T_1 以上である領域と全有効領域との面積比は0.306以下であれば良い。これを半径の比に直すと0.553であるので、輪帯間隔が $T_1 (= 13.3\mu\text{m})$ となる半径は47.7mmであればよい。位相関数に関する仮定として、

$$\phi(r) = c_1 r^2$$

のように光軸からの距離 r の2次の形で書けるものとす

ると、輪帯間隔と位相関数の関係式から $c_1=4.99 \times 10^{-4}$ となることが分かる。ただし、製造波長を $\lambda_p=632.8\text{nm}$ としている。

【0077】この条件でシミュレーションを行うために第13面を仮に13A面と13B面の2枚に分割し、13A面に位相関数 $\phi_A(r)=4.99 \times 10^{-4} r^2$ 、13B面に $\phi_B(r)=\phi_{13}(r)-\phi_A(r)$ となるように与え、13A面による不要回折光の強度分布を計算した。ただし、 $\phi_{13}(r)$ は分割する前に第13面に定義されていた位相関数である。このような扱いは無限に薄い回折面を考える限り正しい。

【0078】図5にこの結果を示す。全体としては設定通りほぼ1%程度で中心から周辺に向かって徐々に低下する分布を持つ不要回折光強度となる。複数回の露光を考えた場合、強度、分布ともにこれ以上の悪化は作製されるデバイスに支障を来し得るが、位相関数から不要回折光強度の振舞いが予測可能であるので、光学系の設計時に予め拘束条件として考慮しておくことで不要回折光の影響を低減することができる。

【0079】次に以上説明した投影露光装置を利用した半導体デバイスの製造方法の実施形態を説明する。

【0080】図7は半導体デバイス（ICやLSI等の半導体チップ、或は液晶パネルやCCD等）の製造のフローチャートである。

【0081】本実施例においてステップ1（回路設計）では半導体デバイスの回路設計を行う。ステップ2（マスク製作）では設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。

【0082】一方、ステップ3（ウエハ製造）ではシリコン等の材料を用いてウエハを製造する。ステップ4（ウエハプロセス）は前工程と呼ばれ、前記用意したマスクとウエハを用いてリソグラフィ技術によってウエハ上に実際の回路を形成する。

【0083】次のステップ5（組立）は後工程と呼ばれ、ステップ4によって作製されたウエハを用いて半導体チップ化する工程であり、アセンブリ工程（ダイシング、ボンディング）、パッケージング工程（チップ封入）等の工程を含む。

【0084】ステップ6（検査）ではステップ5で作製された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行なう。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これが出荷（ステップ7）される。

【0085】図8は上記ステップ4のウエハプロセスの詳細なフローチャートである。まず、ステップ11（酸化）ではウエハの表面を酸化させる。ステップ12（CVD）ではウエハ表面に絶縁膜を形成する。

【0086】ステップ13（電極形成）ではウエハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ14（イオン打

込み）ではウエハにイオンを打ち込む。ステップ15（レジスト処理）ではウエハに感光剤を塗布する。ステップ16（露光）では前記説明した露光装置によってマスクの回路パターンをウエハに焼付露光する。

【0087】ステップ17（現像）では露光したウエハを現像する。ステップ18（エッチング）では現像したレジスト以外の部分を削り取る。ステップ19（レジスト剥離）ではエッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返すことによってウエハ上に多重に回路パターンが形成される。

【0088】本実施例の製造方法を用いれば、高集積度の半導体デバイスを容易に製造することができる。

【0089】

【発明の効果】本発明によれば以上のように、回折光学素子から生ずる不要回折光に悪影響を極力少なくし、高い光学性能を容易に得られる投影露光装置及びデバイスの製造方法を達成することができる。

【0090】特に、本発明によれば、投影光学系中へ回折光学素子を用いる際に輪帯間隔の大きい領域の面積に制限を加えることで、像面での不要回折光の強度を予測し、かつ低レベルに抑えることができる効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施形態1の投影光学系の要部断面図

【図2】 本発明の実施形態1である投影光学系による不要回折光の像面強度分布を示す説明図

【図3】 本発明の実施形態1である投影光学系のうち、第13面のバイナリオプティクス素子による不要回折光の像面強度分布を示す説明図

【図4】 本発明の実施形態1である投影光学系のうち、第17面のバイナリオプティクス素子による不要回折光の像面強度分布を示す説明図

【図5】 本発明の実施形態1である投影光学系をもとに第13面を分割し、位相関数として $\phi_A(r)=4.99 \times 10^{-4} r^2$ を与えたバイナリオプティクス素子による不要回折光の像面強度分布を示す説明図

【図6】 不要回折光を示す模式図

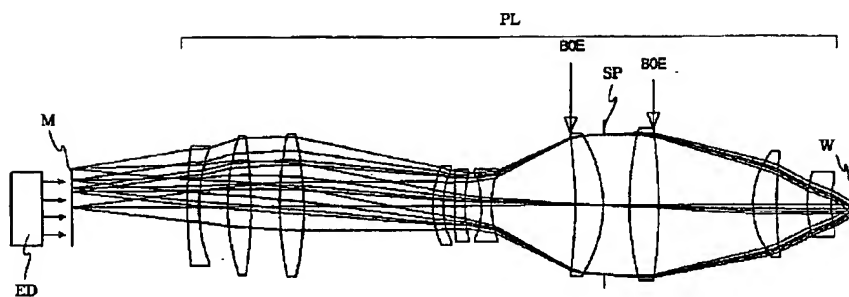
【図7】 本発明のデバイス製造方法のフローチャート

【図8】 本発明のデバイス製造方法のフローチャート

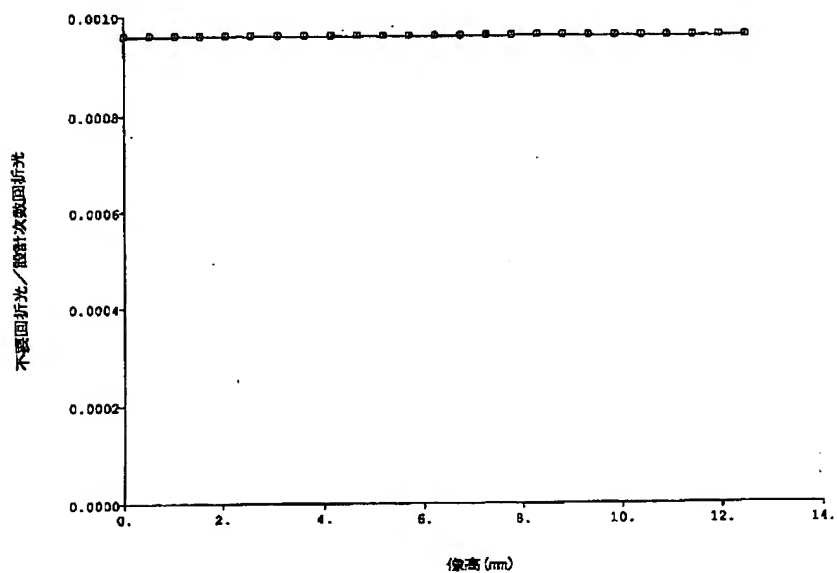
【符号の説明】

PL	投影光学系
BOE1	第1回折光学素子
BOE2	第2回折光学素子
SP	開口絞り
M	第1物体（レチクル）
W	第2物体（ウエハ）
ED	照明装置

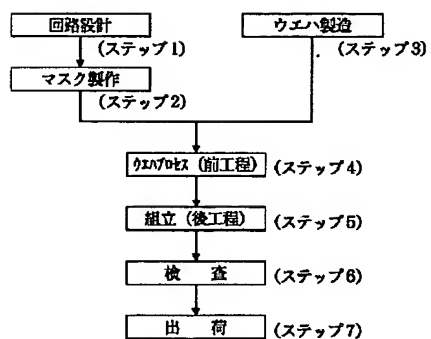
【図1】



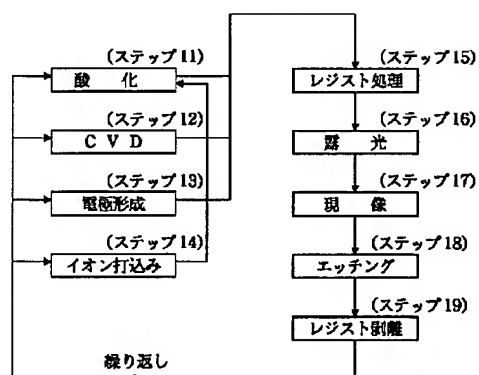
【図2】



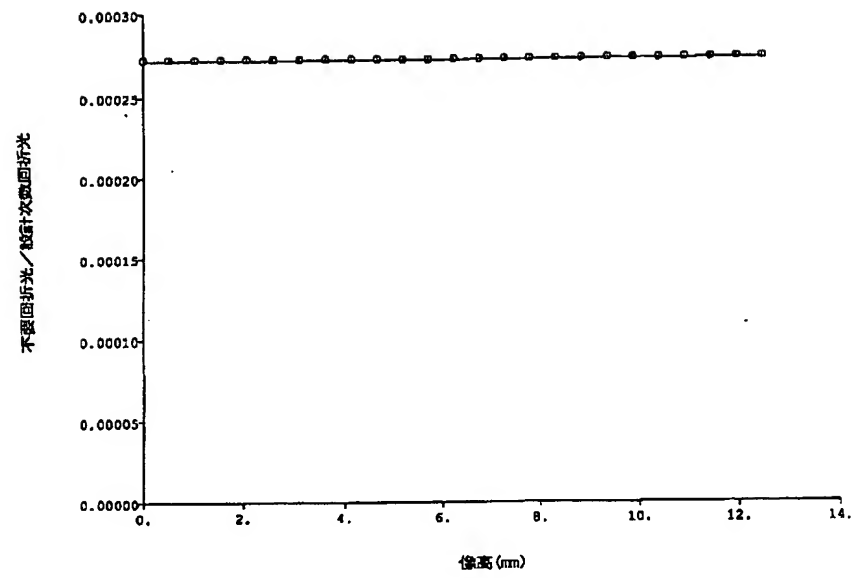
【図7】



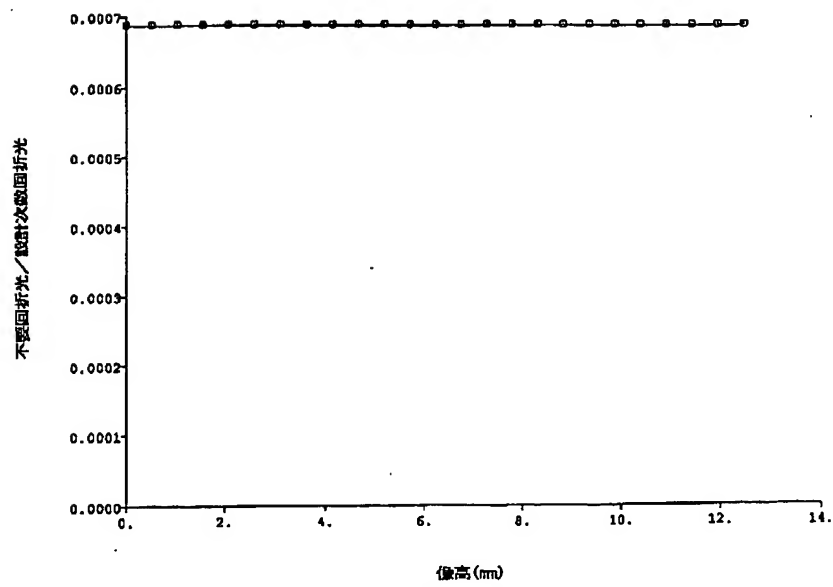
【図8】



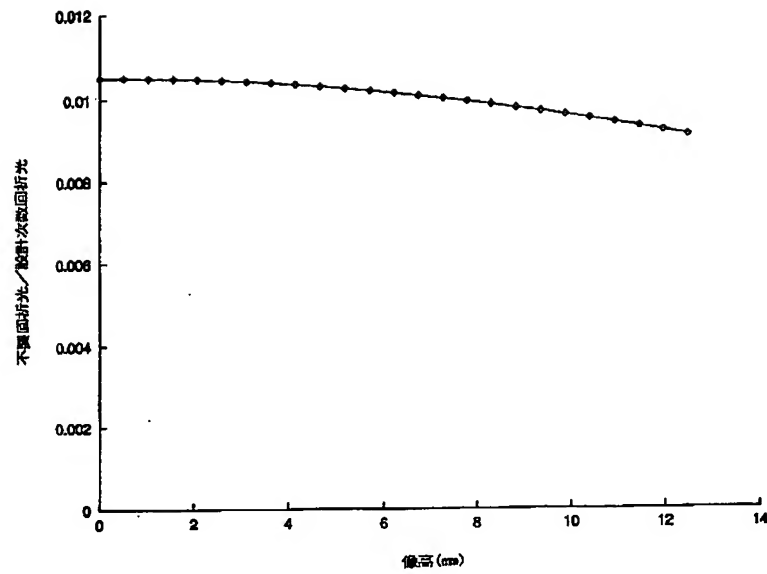
【図3】



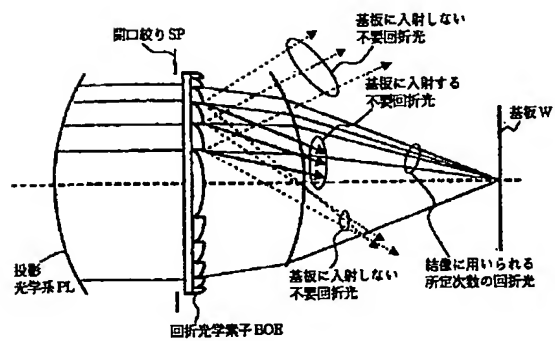
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(51)Int. Cl.⁶

識別記号

F I
H 0 1 L 21/30

518